

UDC [635.35 : 581.1] : 58.055

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE CAULIFLOWER HEADS DEPENDING ON THE GROWING SEASON**Pusik L. M.**Kharkiv National Technical University of Agriculture nd. a Petro Vasylenko
Alchevsky str., 44, Kharkiv, Ukraine, 61002E-mail: Ludmilap@gmail.com**Gaevaya L. O.**Kharkiv National Agrarian University nd. a V.V Dokuchaev
Township Dokuchaevsky, Kharkov rg., Kharkiv district, 62483E-mail: Gaevaaludmila9@gmail.com<https://doi.org/10.32717/0131-0062-2018-64-60-67>

The aim of researchers. To study the thermophysical properties of cauliflower depending on the conditions of the vegetative period and on the features of the hybrids. **Methods.** General sciences: 1. method of hypotheses – compilation of experimental schemes; 2. method of experiment – schemes of field and laboratory experiments; 3. the method of analysis and synthesis – the formation of conclusions and generalizations, calculation and analytical. **Results of research.** It has already been established that the feature of the hybrid of the cabbage of the early flowered crop influenced the thermophysical properties of the mass of products by 815%, the conditions of the growing season by 7687%, the combined effect of the factors was 13%, and other factors 26%. The peculiarity of the hybrid of the cabbage of the late-bluish color influenced the thermophysical properties of the mass of products by 30-75%. Larger values of the heat-exchange characteristics of the products were among the studied early-ripe cabbage blossom hybrids in Opal F₁, and late threshing in Kasper F₁. According to the enthalpy of early-cut, hybrids of the cauliflower varied significantly from each other. Over the years of research, this figure was at 89.28-106.74 kJ/kg, on average over the years of research - 96.48-96.93 kJ/kg depending on the hybrid. The enthalpy of the heads of late-hybrid of cauliflower during the 2015-2017 period was in the range of 53.65–83.09 kJ/kg depending on the hybrid. The difference between hybrids was significant. **Conclusions.** Specific heat of early ripe cauliflower hybrids was 3.74-3.95 kJ/kg.oS, thermal conductivity - 1.75 W/m.oS, a heat capacity – 4.38-4.44.10⁻⁴ m²/s. The specific heat of heads of late-ripe cabbage hybrids was in the range of 3.77-3.95 kJ/kg.oS. Hybrids differed considerably in terms of thermal conductivity. On average, over the years of research it was 1.74-1.77 W/m.oS. The temperature of the mass of hybrid product Skywalk F1 significantly exceeded the performance of other hybrids and was 4.48.10⁻⁴ m²/s. larger values of the heat-exchange characteristics of the products among the studied were early-ripe hybrids of cabbage of cauliflower - in Opal F₁, late-fall in –Kasper F₁

Key words: specific thermo capacity, thermal conductivity, temperature conductivity, enthalpy, hybrid, heat dissipation

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГОЛОВОК КАПУСТИ ЦВІТНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ**Пузік Л. М.**Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка,
вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61000E-mail: ludapusik@gmail.com**Гайова Л. О.**Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
Харків, Україна сел. Докучаєвське, Харківський р-н, Харківська обл., 62483E-mail: Gaevaaludmila9@gmail.com

Мета. Дослідити теплофізичні властивості головок капусти цвітної залежно від умов вегетаційного періоду та від особливостей гібрида. **Методи.** Загальнонаукові: 1. метод гіпотез – складання схем до-

слідів; 2. метод експерименту – схеми польових і лабораторних дослідів; 3. метод аналізу та синтезу – формування висновків і узагальнень, розрахунково-аналітичні. **Результати.** Встановлено, що особливість гібрида капусти цвітної ранньостиглої впливає на теплофізичні властивості маси продукції на 8-15 %, умови вегетаційного періоду – на 76-87 %, сумісна дія факторів становить 1-3 %, інших факторів – 2-6 %. Особливість гібрида капусти цвітної пізньостиглої впливає на теплофізичні властивості маси продукції на 30–75 %. Більші значення теплообмінних характеристик продукції серед досліджуваних ранньостиглих гібридів капусти цвітної – у Опал F₁, пізньостиглих – у Каспер F₁. За ентальпією ранньостиглі гібриди капусти цвітної неістотно відрізнялися один від одного. Упродовж років досліджень цей показник був на рівні 89,28–106,74 кДж/кг, в середньому за роки досліджень – 96,48–96,93 кДж/кг залежно від гібрида. Ентальпія головок пізньостиглих гібридів капусти цвітної упродовж 2015–2017 рр. була в межах 53,65–83,09 кДж/кг залежно від гібрида. Різниця між гібридами була істотною. **Висновки.** Питома теплоємність ранньостиглих гібридів капусти цвітної становила 3,74–3,95 кДж/кг^{°C}, теплопровідність – 1,75 Вт/м^{°C}, температуропровідність – 4,38–4,44·10⁻⁴ м²/с. Питома теплоємність головок пізньостиглих гібридів капусти цвітної коливалася в межах 3,77–3,95 кДж/кг^{°C}. Гібриди істотно різнилися між собою за теплопровідністю, у середньому за роки досліджень вона становила 1,74–1,77 Вт/м^{°C}. Температуропровідність маси продукції гібрида Скайвокер F₁ істотно перевищувала показники інших гібридів і становила 4,48·10⁻⁴ м²/с. Більші значення теплообмінних характеристик продукції серед досліджуваних ранньостиглих гібридів капусти цвітної – у Опал F₁, пізньостиглих – у Каспер F₁.

Ключові слова: питома теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, ентальпія, особливість гібриду, тепловиділення

Вступ. Після відокремлення овочів від материнської рослини в них продовжуються процеси життєдіяльності, властиві живим об'єктам, але на відміну від періоду вирощування ці процеси проходять без надходження із зовнішнього середовища поживних речовин і води. Під час зберігання треба створити такі умови, які б уповільнювали втрати запасних речовин на процеси життєдіяльності, але не зупиняли їх. [Nilsson T., 2000]. Процеси, які протікають під час зберігання овочів можна розділити на фізичні, фізико-біохімічні, анатомо-морфологічні, мікробіологічні. Фізичні процеси обумовлені тепловиділенням та випаровуванням води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з досліджуваної теми. Тепловиділення овочів відбувається за рахунок їх дихання. Дихання – процес, в результаті якого запасні органічні речовини розкладаються до простих кінцевих продуктів з вивільненням енергії та діоксиду вуглецю. Вивільнена енергія є теплом, що підвищує температуру маси продукції [Rubin, B.A., 1976; Irtwange, S. V., 2006; Smetanska, I., KN'yuskens-Kayl S., 2004]. Згідно даних С. М. Бруєва та ін. [Bruev, S. N., Egorova, N. M., 1973] брюссельська, броколі і цвітна капуста характеризуються, порівняно з іншими видами капусти, вищою інтенсивністю дихання при 0°C: 7,4 і 6,8 мг СО₂ на 1 кг за 1 годину відповідно. Згідно даних S. V. Irtwange [Irtwange, S. V., 2006] інтенсивність дихання капусти білоголо-

вої за 15 °C становила: – в межах 10–20 мг СО₂/кг · год., цвітної – 20–40, броколі – 40–60 мг СО₂/кг · год.

Інтенсивність тепловиділення залежить від інтенсивності дихання, виду продукції, її стану, умов вирощування та зберігання. Вона зменшується із зниженням інтенсивності дихання. Одним із факторів, що впливають на ці процеси, є охолодження продукції до температури її зберігання [Khraneniye i pererabotka ovoshchey i fruktov, 1993]. Інтенсивність тепловиділення капусти білоголової під час зберігання за температури 0 °C становить 1,09–1,25 кДж/кг·добу, капусти цвітної – 2,09–5,43, капусти червоноголової – 1,25–1,59 кДж/кг·добу [Naychenko, V. M., Osadchyu, O. S., 1999].

Дихання, а отже і тепловиділення, найбільш інтенсивно протікає в перші дні після збирання, потім помітно знижується. Механічні пошкодження, враження мікроорганізмами, несприятливі умови зберігання різко підвищують інтенсивність дихання та тепловиділення [Khraneniye ovoshchey i plodov bakhchevykh kul'tur, 1970; Khareba, V. V., 2001]. Тепловиділення є одним із основних факторів створення температурного стану в масі продукції і залежить від теплофізичних властивостей продукції. Теплофізичні властивості овочів характеризуються такими показниками, як коефіцієнт теплопровідності, температуро-провідності, питома теплоємність.

Теплопровідність – це кількість теплової енергії, яка проходить через продукцію. Залежить від хімічного складу і структури фруктів та овочів, їх розміру, об'ємної маси, шпаруватості. Із зовнішніх факторів на коефіцієнт теплопровідності впливає вологотемпературний режим, тиск, а також додатковий перенос тепла за рахунок конвекції і променистого обміну у вільному просторі між екземплярами продукції. Коефіцієнти теплопровідності овочів як правило, мало відрізняються і близькі до теплопровідності води, тільки у капусти білоголової вища за теплопровідність води 0,99 – 1,30 Вт / м² · К. Під час зберігання велике значення має теплопровідність не окремих екземплярів, а всієї маси продукції (штабельно, насипу). Чим більший об'єм партії і менша насипна маса, тим нижча теплопровідність продукції. У великих штабелях, які не продуваються повітрям, можливе локальне самозігрівання продукції за рахунок тепла, виділеного при диханні. Щоб запобігти появі таких наслідків, необхідно дотримуватися оптимальних розмірів штабеля, а також висоти насипу.

Температуропровідність характеризує теплоінерційні властивості овочів. Коефіцієнт температуропровідності прямо пропорційний коефіцієнту теплопровідності і обернено пропорційний щільності і питомій теплоємності продукції. Визначає швидкість вирівнювання температури у різних точках температурного поля. Від температуропровідності залежить градієнт температури, тобто зміна температури на одиниці відстані. Чим вищий коефіцієнт температуропровідності, тим швидше охолоджується або нагрівається продукція. У більшості видів фруктів та овочів він коливається від 11 до 16 м² / с, тільки у капусти білоголової 27,0 – 36,1 м² / с, тобто приблизно вдвічі більший, ніж в інших видів, завдяки наявності повітряних прошарків між листками. Температуропровідність і теплопровідність залежать від температури, вологості і шпаруватості продукції.

Питома теплоємність – це кількість тепла, необхідного для нагрівання або охолодження продукції. Питома теплоємність овочів коливається у межах від 2065 до 4103 Дж / кг · К, причому найвища вона у огірків, у капусти білоголової – 3730 – 3936 Дж / кг · К. Зміна питомої теплоємності під час зберігання продукції визначається витратами нею води і сухих речовин. Вона зростає, якщо витрати сухих речовин на процес дихання перевищують витрати води на випаровування і зменшується при інтенсивному випаровуванні вологи [Pusik, L. M., Nordiyenko, I. M., 2011].

Отже, огляд літературних джерел показав, що питання інтенсивності тепловиділення та теплофізичні властивості вивчалися переважно на капусті білоголової.

Мета досліджень. Метою дослідження було дослідити теплофізичні властивості головок капусти цвітної залежно від умов вегетаційного періоду та від особливостей гібрида.

Методика досліджень. Дослідження проводили з гібридами капусти цвітної ранньостиглої: Лівінгстон F₁, Кул F₁, Опал F₁, (контроль – Лівінгстон F₁) та пізньостиглої: Скайвокер F₁, Сантамарія F₁, Каспер F₁ (контроль – Каспер F₁), вирощених на дослідному полі, розташованому в східній частині Лівобережного Лісостепу України на території Харківського району з використанням краплинного зрошення, кафедри плодощовочівництва та зберігання ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Дослідження проводили впродовж 2015–2017 рр. Вивчали вплив особливостей гібрида і погодних умов вегетаційного періоду на теплофізичні властивості головок капусти цвітної. Визначали питому теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, а також ентальпію, кількість тепла, що слід видалити під час охолодження 1 т продукції, кількість повітря для охолодження й можливе підвищення температури 1 т насипу продукції. Дослід двофакторний: фактор А – особливості гібрида, фактор В – умови вегетаційного періоду. Повторність триразова.

Питому теплоємність продукції визначали за:

$$c = 4,19 - 0,028 \times n_c, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність продукції, кДж/кг · К;

n_c – вміст сухих речовин, %.

Теплопровідність:

$$\lambda = \frac{P_\phi}{P_i} \cdot (0,57 - 0,004) + \left(1 - \frac{P_\phi}{P_i}\right), \quad (2)$$

де λ – теплопровідність продукції, Вт/м² · °С;

P_ϕ – фізична густина, кг/м³;

P_i – істинна густина, кг/м³.

Кількість тепла, яке поступово відводиться від тіла, представлено через ентальпію, яку визначали за формулою:

$$\varepsilon = C \cdot (t_0 - t_1), \quad (3)$$

де ε – тепловміст (ентальпія), кДж/кг;

C – питома теплоємність продукції, кДж/кг · К;

t_0, t_1 – відповідно початкова та дійсна температура продукції, К.

Кількість тепла, що виділяє продукція за добу визначали за формулою:

$$\Sigma Q_T = (\varepsilon + g) m, \quad (4)$$

де ΣQ_T – кількість тепла, яке необхідно видалити, кДж;

ε – тепловміст (ентальпія), кДж/т;

g – інтенсивність тепловиділення продукції, кДж/т за добу;

m – маса продукції, т.

Швидкість охолодження головок капусти цвітної визначали за допомогою ртутного термометра ТУ У 33.2-14307481-035:2005 ТЛС-6, який встановлювали в середину стебла. Показники знімали через кожні 30 хв. Повторність досліду триразова.

Кількість повітря, яке необхідно подати у сховище для охолодження маси продукції, розраховували за формулою [Saburov, N. V., Antonov, M. V., 1963]:

$$V = \frac{\sum Q_T}{1,297 \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (5)$$

де V – кількість повітря, яка необхідна для охолодження продукції і виведення надлишків тепла, м³;

$\sum Q_T$ – кількість тепла, яке необхідно видалити за період охолодження продукції, кДж;

1,297 – середня теплоємність повітря, кДж/м³·°C;

t_1 – температура продукції на початку періоду охолодження, °C;

t_2 – температура, до якої потрібно охолодити продукцію, °C.

Підвищення температури 1 т продукції :

$$T = \frac{g}{c} \cdot 0,024, \quad (6)$$

де T – підвищення температури продукції за добу, °C/доба;

g – інтенсивність тепловиділення продукції, кДж/кг·год;

c – питома теплоємність продукції, кДж/кг·°C.

Температуропровідність:

$$a = \frac{\lambda}{P_\phi \cdot c}, \quad (7)$$

де a – температуропровідність продукції, м²/с;

λ – теплопровідність, Вт/м·°C;

P_ϕ – фізична густина, кг/м³;

c – питома теплоємність продукції, кДж/кг·°C.

Результати досліджень. Капуста цвітна відрізняється підвищеною інтенсивністю обміну речовин, тому виділяє значну кількість тепла і води. При однакових умовах зберігання обмін речовин в два рази швидший, ніж у картоплі. Інтенсивність тепловиділення при температурі в період збирання біля 8 °C досягає 3,34 кДж/кг

за добу. Цієї кількості тепла достатньо, щоб підвищити температуру капусти приблизно на 1 °C за добу. Отже, якщо скласти капусту штабелями великого розміру, може відбутися самозігрівання. Тому треба ретельно дотримуватись рекомендацій щодо висоти штабелів у сховищах. Від теплофізичних властивостей овочів залежить швидкість їх охолодження або нагрівання. Характеристики теплофізичних властивостей використовують для розрахунків необхідної кількості теплової енергії для охолодження продукції під час транспортування та зберігання.

Питома теплоємність – теплоємність одиниці маси речовини. Виражає кількість тепла, яке необхідне для зміни температури 1 кг речовини на 1 °C. Питома теплоємність продукції залежить від вмісту в ній води і сухих речовин: чим більше продукція містить води, тим більша її теплоємність і, навпаки, чим більший вміст сухих речовин, тим теплоємність менша [Pusik, L. M., Hordiyenko, I. M., 2011]. У наших дослідженнях питома теплоємність ранньостиглих гібридів капусти цвітної впродовж 2015–2017 рр. коливалася в межах 3,74–3,95 кДж/кг·°C і в середньому за роки досліджень становила 3,84–3,91 кДж/кг·°C (табл. 1).

Дисперсійним аналізом встановлено, що особливість гібрида (фактор А) на 15 % впливала на питому теплоємність маси продукції, умови вегетаційного періоду (фактор В) – на 76 %, сумісна дія факторів АВ становила 3 %, інших факторів (умови збирання врожаю, ступінь однорідності маси продукції та інші) – 6 %.

Теплопровідність та температуропровідність – два основних показники, що визначають швидкість процесу переносу тепла і зміну температури у продукції. Чим вони більші, тим швидше відбувається охолодження або нагрівання продукції та вирівнювання її температури. Теплопровідність – вид переносу теплової енергії від більш нагрітої ділянки продукту до менш нагрітої, що призводить до вирівнювання температури; залежить від вологості та структури плодів і овочів, їхнього розміру, температури (при підвищенні температури теплопровідність збільшується), насипної маси й шпаруватості. Чим більше об'єм партії і менше насипна маса, тим нижча теплопровідність продукції [Pusik, L. M., 2010].

Теплопровідність ранньостиглих гібридів капусти цвітної у середньому за роки досліджень була однаковою - 1,75 Вт/м·°C (табл. 1). Дисперсійним аналізом встановлено, що частка

впливу особливостей гібрида (фактор А) на теплопровідність маси продукції капусти цвітної складала 12 %, умови вегетаційного періоду (фактор В) вливали на 85 %, сумісна дія факто-

рів АВ – 1 %, решта впливу (2 %) припадала на інші фактори.

Температуропровідність – визначає швидкість вирівнювання температури продукції в різних точках температурного поля.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості головок ранньостиглих гібридів капусти цвітної

Гібрид (фактор А)	Рік	Питома теплоємність, кДж/кг [°] С	Теплопровідність, Вт/м [°] С	Температуропровідність, а · 10 ⁻⁴ , м ² /с
Лівінгстон F ₁	2015	3,92	1,76	4,38
	2016	3,75	1,74	4,51
	2017	3,85	1,75	4,43
Кул F ₁	2015	3,91	1,75	4,39
	2016	3,92	1,76	4,37
	2017	3,91	1,75	4,39
Опал F ₁	2015	3,95	1,75	4,39
	2016	3,74	1,74	4,52
	2017	3,88	1,76	4,40
НІР ₀₅		0,08	0,02	0,03
Лівінгстон F ₁	Середнє	3,84	1,75	4,44
Кул F ₁	Середнє	3,91	1,75	4,38
Опал F ₁	Середнє	3,86	1,75	4,44

Чим вищий коефіцієнт температуропровідності, тим швидше відбувається охолодження або нагрівання продукції. Температуропровідність залежить від тих же факторів, що і теплоємність [Pusik, L. M., 2010]. Упродовж років досліджень ранньостиглі гібриди капусти цвітної майже не відрізнялися один від одного за температуропровідністю: у 2015 р. вона становила $4,38-4,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, у 2016 та 2017 рр. коливання цього показника були істотними – $4,37-4,52 \cdot 10^{-4}$ і $4,39-4,43 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ відповідно (табл. 1). У середньому за роки досліджень температуропровідність гібридів була в межах $4,38-4,44 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, при цьому показником Кул F₁ був істотно нижче порівняно з іншими (НІР₀₅ = $0,03 \text{ м}^2/\text{с}$). Дисперсійним аналізом встановлено, що особливість гібрида (фактор А) капусти цвітної впливала на її температуропровідність на 8 %, умови вегетаційного періоду (фактор В) – на 87 %, сумісна дія факторів АВ становила 2 %, інших факторів – 3 %.

Питома теплоємність пізньостиглих гібридів капусти цвітної упродовж 2015–2017 рр. коливалася в межах $3,77-3,95 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$ (табл. 2).

Різниця між гібридами була істотною (НІР₀₅ = $0,04 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$). У середньому за роки досліджень більшу питому теплоємність мав гібрид Сантама-

рія F₁: $3,91 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$. При цьому вплив особливостей гібрида (фактор А) становив 30 %, умов вегетаційного періоду (фактор В) – 61 %, сумісної дії факторів – 3 %, інших – 6 %. Теплопровідність 1 т маси продукції гібрида Каспер F₁ упродовж 2015–2017 рр. була в межах $1,73-1,78 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$, Сантамарія F₁ – $1,75-1,78 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$, Скайвокер F₁ – $1,73-1,76 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$. Гібриди істотно (НІР₀₅ = $0,01 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$) різнилися між собою за теплопровідністю. У середньому за роки досліджень меншою вона була у Скайвокер F₁ – $1,74 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$, більшою – у Сантамарія F₁ і становила $1,77 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$. Дисперсійним аналізом встановлено, що вплив особливостей гібрида (фактор А) на теплопровідність становив 73 %.

Температуропровідність маси продукції гібрида Скайвокер F₁ істотно (НІР₀₅ = $0,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$) перевищувала показники інших гібридів і становила в середньому за 2015–2017 рр. $4,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (табл. 2). Дисперсійним аналізом встановлено, що вплив особливостей гібрида (фактор А) на температуропровідність маси його продукції становив 75 %.

Таблиця 2 – Теплофізичні властивості головок пізньостиглих гібридів капусти цвітної

Гібрид (фактор А)	Рік	Питома теплоємність, кДж/кг·°С	Тепло-провідність, Вт/м·°С	Температуро-провідність, а·10 ⁻⁴ , м ² /с
Каспер F ₁	2015	3,95	1,73	4,35
	2016	3,81	1,78	4,45
	2017	3,79	1,75	4,48
Сантамарія F ₁	2015	3,95	1,75	4,37
	2016	3,92	1,78	4,31
	2017	3,88	1,77	4,35
Скайвокер F ₁	2015	3,87	1,73	4,43
	2016	3,78	1,76	4,50
	2017	3,77	1,74	4,50
НІР ₀₅		0,04	0,01	0,03
Каспер F ₁	Середнє	3,85	1,75	4,43
Сантамарія F ₁	Середнє	3,91	1,77	4,34
Скайвокер F ₁	Середнє	3,80	1,74	4,48

Під час охолодження із продукції видаляється тепло, що виділяється під час дихання, а також те, що було надано оточуючим середовищем і представлено через ентальпію (теплеміст) [Volkov, A. I., Zharskiy, I. M., 2005]. За ентальпією ранньостиглі гібриди капусти цвітної

неістотно відрізнялися один від одного. Упродовж років досліджень цей показник був на рівні 89,28–106,74 кДж/кг, в середньому за роки досліджень – 96,48–96,93 кДж/кг залежно від гібрида (табл. 3).

Таблиця 3 – Теплообмінні характеристики ранньостиглих гібридів капусти цвітної

Гібрид (фактор А)	Рік	Ентальпія, кДж/кг	Кількість тепла, що слід видалити, Дж	Кількість повітря для охолодження, м ³	Можливе підвищення температури, °С/доба
Лівінгстон F ₁	2015	91,76	5878636,08	193696,04	1,48
	2016	92,70	5300896,04	165467,37	1,39
	2017	104,98	6549464,88	184970,81	1,68
Кул F ₁	2015	94,62	5171294,00	164757,00	1,30
	2016	89,28	4850299,68	164018,85	1,22
	2017	106,74	5683191,00	160505,39	1,43
Опал F ₁	2015	92,54	7089406,32	233589,89	1,78
	2016	92,43	6247563,40	195017,57	1,64
	2017	105,83	7418337,72	209509,62	1,89
НІР ₀₅		0,75	549003,20	16551,30	0,20
Лівінгстон F ₁	Середнє	96,48	5909666,00	181378,10	1,51
Кул F ₁	Середнє	96,88	5234928,00	163093,70	1,31
Опал F ₁	Середнє	96,93	6918436,00	212705,70	1,77

Загальна кількість тепла, що слід видалити під час охолодження 1 т продукції ранньостиглих гібридів капусти цвітної (табл. 3), впродовж років досліджень істотно різнилась

(НІР₀₅ = 549003,20 Дж). У середньому за 2015–2017 рр. досліджень більшим цей показник був у Опал F₁ 6918436 Дж, у Лівінгстон F₁ та Кул F₁

– істотно менше: відповідно 5909666 та 5234928 Дж.

Розрахунками встановлена необхідна кількість повітря для охолодження 1 т продукції капусти цвітної: Лівінгстон F₁ – 181378,1 м³, Кул F₁ – 163093,7 та Опал F₁ – 212705,7 м³. Між кількістю повітря для охолодження головок гібридів Лівінгстон F₁ та Кул F₁ істотно різниці не було. Для охолодження 1 т продукції Опал F₁ повітря потрібно істотно більше (НІР₀₅ = 16551,3 м³).

Розрахунки також свідчать, що якщо не видаляти тепло із насипу продукції, то можливе підвищення температури за добу в середньому за роки досліджень може становити від 1,31 до 1,77 °С залежно від гібрида (див. табл. 3). При цьому істотно більшим (НІР₀₅ = 0,2 °С/доба) підвищення температури за добу може бути в 1 т насипу продукції гібрида Опал F₁.

Ентальпія головок пізньостиглих гібридів капусти цвітної упродовж 2015–2017 рр. була в

межах 53,65–83,09 кДж/кг залежно від гібрида. Різниця між гібридами була істотною (НІР₀₅ = 0,86 кДж/кг). У середньому за роки досліджень ентальпія Каспер F₁ була 69,21 кДж/кг, Сантамарія F₁ – 70,23 кДж/кг, Скайвокер F₁ – 68,32 кДж/кг (табл. 4). Загальна кількість тепла, що треба видалити з 1 т продукції пізньостиглих гібридів капусти цвітної під час охолодження, становила в середньому за роки досліджень від 6777751 Дж у Сантамарія F₁ до 8889821 Дж у Каспер F₁. Різниця між гібридами по роках досліджень була істотною (НІР₀₅ = 573826 Дж).

Згідно розрахунків, необхідна кількість повітря для охолодження 1 т продукції (табл. 4) гібрида Каспер F₁ становить 390512,3 м³, Сантамарія F₁ – 295497,8 м³, Скайвокер F₁ – 301718,7 м³. По роках досліджень різниця між гібридами за цим показником була істотна (НІР₀₅ = 18442,1 м³).

Таблиця 4 – Теплообмінні характеристики пізньостиглих гібридів капусти цвітної

Гібрид (фактор А)	Рік	Ентальпія, кДж/кг	Кількість тепла, що слід видалити, Дж	Кількість повітря для охолодження, м ³	Можливе підвищення температури, °С/доба
Каспер F ₁	2015	86,09	9502924,56	336094,04	2,38
	2016	54,09	8366154,64	454252,75	2,18
	2017	67,45	8800382,88	381190,08	2,30
Сантамарія F ₁	2015	86,09	7530124,56	266321,17	1,88
	2016	55,60	5974001,52	324367,26	1,51
	2017	69,00	6829127,92	295804,84	1,74
Скайвокер F ₁	2015	84,26	7659813,36	270907,93	1,96
	2016	53,65	6129877,28	332830,76	1,61
	2017	67,06	6958704,16	301417,45	1,83
НІР ₀₅		0,86	573826,44	18442,10	0,30
Каспер F ₁	Середнє	69,21	8889821,00	390512,30	2,30
Сантамарія F ₁	Середнє	70,23	6777751,00	295497,80	1,71
Скайвокер F ₁	Середнє	68,32	6916132,00	301718,70	1,80

Розрахунками також встановлено, що без своєчасного відведення тепла можливе підвищення температури в 1 т насипу головок гібрида Каспер F₁ може складати 2,30 °С, у Сантамарія F₁ та Скайвокер F₁ менше – 1,71 і 1,80 °С за добу відповідно. Упродовж 2015–2017 рр. Каспер F₁ істотно перевищував інші гібриди за цим показником (НІР₀₅ = 0,30 °С/доба).

Висновки. Питома теплоємність ранньостиглих гібридів капусти цвітної становила 3,74–3,95 кДж/кг·°С, теплопровідність – 1,75 Вт/м·°С, температуропровідність – 4,38–4,44·10⁻⁴ м²/с. Встановлено, що особливість гібрида капусти цвітної ранньостиглої впливає на теплофізичні властивості маси продукції на 8-15 %, умови вегетаційного періоду – на 76-87 %, сумісна дія

факторів становить 1-3 %, інших факторів – 2-6 %.

Питома теплоємність головок пізньостиглих гібридів капусти цвітної коливалася в межах 3,77–3,95 кДж/кг⁰С. Гібриди істотно різнилися між собою за теплопровідністю, у середньому за роки досліджень вона становила 1,74–1,77 Вт/м⁰С. Температуропровідність маси продукції гібрида Скайвокер F₁ істотно перевищувала показники інших гібридів і становила 4,48·10⁻⁴ м²/с. Встановлено, що особливість гібрида капусти цвітної пізньостиглої впливає на теплофізичні властивості маси продукції на 30–75 %.

References

Bruyev, S. N., Egorova, N. M., Pozdnyak, G. S. (1973) *Khreneniye kapustu v polyetylenovoy plenke. Khreneniye i pererabotra kartofelya, ovoshey i vinograda: pod. red. VASHNIL P.F Sokol and Candidate s.-x. nauk A. G. Starikova.* Moskva: Kolos, P. 107-111. [in Russian].

Ginzburg, A. S., Gromov, M. A. (1987). *Teplofizicheskiye kharakteristiki kartofelya, ovoshchey i plodov.* Moskva: Agropromizdat, 1987. 272 p. [in Russian].

Irtwange, S. V. Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables // *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2006. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://www.researchgate.net/profile/Simon_Irtwange/publication/228878406_Application_of_Modified_Atmosphere_Packaging_and_Related_Technology_in_Postharvest_Handling_of_Fresh_Fruits_and_Vegetables/links/54b642420cf28ebe92e7c0fd.pdf (data zvernennya data zverнення: 05.02.2015). [in English].

Khareba, V. V. (2001) *Intensyvniy dykhannya ta teplovohovydilennya kapusty biloholovoyi pry zberihanni Ovochivnytstvo i bashannytstvo: mizhvid. temat. nauk. zb. NAANU, IOB.* Kharkiv, № 46. P. 226–229. [in Ukrainian].

Khreneniye i pererabotka ovoshchey i fruktov. Izd. 8-ye. Moskva: Moskovskiy rabochiy, 1993. 256 p. [in Russian].

Khreneniye ovoshchey i plodov bakhchevykh kul'tur. (Obzor literatury) / [sost. kand. s.-kh. nauk V. S. D'yachenko]. Moskva: VNIIT EIsel'khov MSKH SSSR, 1970. 96 p. [in Russian].

Naychenko, V. M., Osadchyy, O. S. (1999). *Tekhnolohiya zberihannya i pererobky plodiv ta ovochiv z osnovamy tovaroznavstva: pidruchnyk.* Kyiv: Shkolyar, p. 146, 246. [in Ukrainian].

Nilsson, T. (2000) *Postharvest handling and storage of vegetables // Fruit & Vegetables Quality. An integrated view.* N.W.: CRC Press, Chap. 6. P. 97–99. [in English].

Pusik, L. M. (2010) *Naukove obgruntuvannya ta rozrobka zakhodiv podovzhennya strokiv spozhyvannya plodiv harbuzovykh roslyn: dys.d-ra s.-h. nauk: spets. 06.01.15.* Khark. nats. ahrar. un-t im. V.V. Dokuchayeva. Kharkiv. 391. [in Ukrainian].

Pusik, L. M., Hordiyenko, I. M. (2011) *Tekhnolohiya zberihannya plodiv, ovochiv ta vynohradu: navch. posibnyk KHNAU im. V.V. Dokuchayeva.* Kharkiv: Maydan, 336 p. [in Ukrainian].

Rubin, B.A. (1976) *Kurs Fiziologii rasteniy: uchebnyk. Izd. 4-ye izd., pererab. I dop.* Moskva: Vyssh.shk., 576 p. [in Russian].

Saburov, N. V., Antonov, M. V., Shirokov, Ye. P. (1963) *Khreneniye i pererabotka plodov i ovoshchey.* Moskva: Izd-vo s.-kh. lit., zhurn. i plakatov, 463 s. [in Russian].

Smetanska, I., KH'yuskens-Kayl S. (2004) *Pislyazbyralna fiziolohiya ta tekhnolohiya zberihannya plodoovochevoyi produktsiyi /Universytet im. Humboldta, Nats. ahrar. un-t Ukrayiny, Spilnyy yevropeyskyy proekt Tempus Tacis.* Kyiv: NAUU, 150 p. [in Ukrainian].

Volkov, A. I., Zharskiy, I. M. (2005) *Bol'shoy khimicheskyy spravochnik.* Minsk: Sovremennaya shkola, 608 p. [in Russian].